

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

## Three-dimensional measuring system and method of measuring the shape of an object

Patent Number: ☐ US6151118  
Publication date: 2000-11-21  
Inventor(s): NORITA TOSHIO (JP); TANABE HIDEKI (JP); UCHINO HIROSHI (JP)  
Applicant(s):: MINOLTA CO LTD (JP)  
Requested Patent: ☐ JP10206132  
Application Number: US19970972432 19971118  
Priority Number(s): JP19960308106 19961119; JP19970276848 19971009  
IPC Classification: G01B11/24  
EC Classification: G01B11/24F  
Equivalents:

### Abstract

A three-dimensional measuring system comprises an optical system for emitting a light and optically scanning an object, a measuring sensor having an image pickup surface consisting of a plurality of picture elements and adapted to receive the light reflected on the surface of the object, a galvanometer mirror for changing a direction in which the light irradiates the object, a system controller for driving the measuring sensor so as to allow the same to output information on the quantity of light incident on each of the picture elements, and a barycentric calculation circuit for finding an instant when the light traverses each of the picture elements. This instant is found by implementing a barycentric calculation on the basis of outputs of the measuring sensor taken for a prescribed period of time and an instant at which each of the outputs is taken. The measuring system further comprises a host computer for finding a position on the surface of the object corresponding to each of the picture elements. This position is found on the basis of a relationship between a direction in which the light irradiates the object at an instant when the light traverses each of the picture elements and a direction in which the light reflected on the surface of the object is incident on each of the picture elements.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-206132

(43)公開日 平成10年(1998)8月7日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

G 0 1 B 11/24

G 0 1 B 11/24

K

G 0 1 C 3/06

G 0 1 C 3/06

A

G 0 6 T 7/00

G 0 6 F 15/62

4 1 5

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 25 頁)

(21)出願番号 特願平9-276848

(22)出願日 平成9年(1997)10月9日

(31)優先権主張番号 特願平8-308106

(32)優先日 平8(1996)11月19日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際ビル

(72)発明者 田辺 英樹

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

(72)発明者 内野 浩志

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

(72)発明者 棚田 寿夫

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

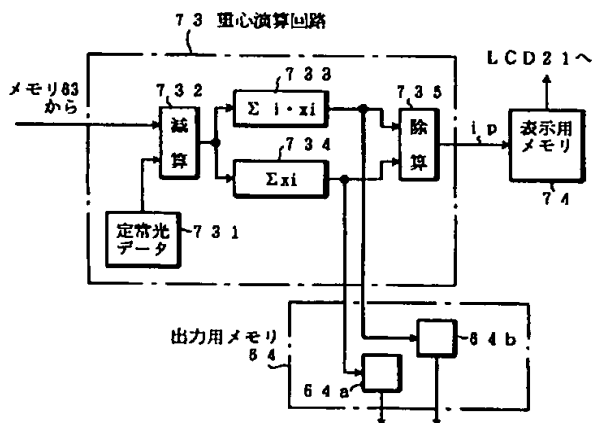
(74)代理人 弁理士 久保 幸雄

(54)【発明の名称】 3次元計測システム

(57)【要約】

【課題】高分解能で高精度の計測が可能であり、構成が簡単でノイズの影響を受け難い画像処理装置を提供することを目的とする。

【解決手段】検出光を照射して物体を光学的に走査する光学系40、複数の画素からなる撮像面を有し物体で反射した検出光を受光するセンサ53、物体に対する検出光の照射方向を変化させるガルバノミラー43、各画素に入射する検出光の光量情報を出力するようにセンサ53を駆動するシステムコントローラ61、予め決められた所定期間内のセンサの出力(x)とそれぞれの出力(x)が得られたタイミング(i)とに基づいて重心演算を行うことにより、検出光が各画素を通過した通過タイミングを求める重心演算回路73、及び、物体上の各画素に対応した部位の位置を、通過タイミングにおける照射方向と当該各画素に対する検出光の入射方向との関係に基づいて求めるホストコンピュータを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】検出光を照射して物体を光学的に走査するための投光手段と、  
 複数の受光領域からなる撮像面を有し、前記物体で反射した前記検出光を受光する撮像手段と、  
 前記物体に対する前記検出光の照射方向を変化させる走査手段と、  
 前記各受光領域に入射する前記検出光の光量情報を出力するように前記撮像手段を駆動する撮像制御手段と、  
 予め決められた所定期間内の前記撮像手段の出力(x)とそれぞれの出力(x)が得られたタイミング(i)とに基づいて重心演算を行うことにより、前記検出光が前記各受光領域を通過した通過タイミングを求める第1演算手段と、  
 前記物体上の前記各受光領域に対応した部位の位置を、前記通過タイミングにおける照射方向と当該各受光領域に対する前記検出光の入射方向との関係に基づいて求める第2演算手段と、  
 を有したことを特徴とする3次元計測システム。

【請求項2】前記第1演算手段は、  
 前記所定期間内における前記出力(x)と前記タイミング(i)との積(x・i)の総計 $\Sigma(x \cdot i)$ を算出する第1加算部及び前記出力(x)の総計 $\Sigma(x)$ を算出する第2加算部と、  
 前記第1加算部及び第2加算部からの出力に基づいて、時間重心 $Npeak = \Sigma(x \cdot i) / \Sigma(x)$ を算出する除算部とを含む、  
 請求項1記載の3次元計測システム。

【請求項3】前記所定期間として、前記物体の計測可能距離範囲に対応する有効受光領域を前記検出光が通過する期間が用いられている、

請求項1又は請求項2記載の3次元計測システム。

【請求項4】検出光を照射して物体を光学的に走査するための投光手段と、  
 複数の受光領域からなる撮像面を有し、前記物体で反射した前記検出光を受光する撮像手段と、  
 前記物体に対する前記検出光の照射方向を変化させる走査手段と、  
 前記各受光領域に入射する前記検出光の光量情報を出力するように前記撮像手段を駆動する撮像制御手段と、  
 予め決められた受光幅内の前記各受光領域の位置(i)と各受光領域についての前記撮像手段の出力(x)とに基づいて重心演算を行うことにより、特定の照射方向に照射された前記検出光によって最大の光量情報の得られる前記撮像面上の位置を求める第3演算手段と、  
 前記物体上の前記各受光領域に対応した部位の位置を、前記特定の照射方向と前記第3演算手段により求められた前記撮像面上の位置に対応する前記検出光の入射方向との関係に基づいて求める第4演算手段と、  
 を有したことを特徴とする3次元計測システム。

【請求項5】前記第3演算手段は、

前記各受光領域についての前記出力(x)と前記各受光領域の位置(i)との積(x・i)の総計 $\Sigma(x \cdot i)$ を算出する第1加算部及び前記出力(x)の総計 $\Sigma(x)$ を算出する第2加算部と、  
 前記第1加算部及び第2加算部からの出力に基づいて、空間重心 $Mpeak = \Sigma(x \cdot i) / \Sigma(x)$ を算出する除算部とを含む、  
 請求項4記載の3次元計測システム。

【請求項6】前記受光幅として、前記物体の計測可能距離範囲に対応する有効受光領域が用いられている、  
 請求項4又は請求項5記載の3次元計測システム。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、物体にスリット光又はスポット光を照射して物体形状を非接触で計測する3次元計測システムに関する。

【0002】

【従来の技術】レンジファインダと呼ばれる非接触型の3次元計測システムは、接触型に比べて高速の計測が可能であることから、CGシステムやCADシステムへのデータ入力、身体計測、ロボットの視覚認識などに利用されている。

【0003】レンジファインダに好適な計測方法としてスリット光投影法(光切断法ともいう)が知られている。この方法は、物体を光学的に走査して3次元画像(距離画像)を得る方法であり、特定の検出光を照射して物体を撮影する能動的計測方法の一種である。3次元画像は、物体上の複数の部位の3次元位置を示す画素の集合である。スリット光投影法では、検出光として断面が直線状のスリット光が用いられる。

【0004】図25はスリット光投影法の概要を示す図、図26はスリット光投影法による計測の原理を説明するための図である。計測対象の物体Qに断面が細い帯状のスリット光Uを照射し、その反射光を例えば2次元イメージセンサの撮像面S2に入射させる〔図25(a)〕。物体Qの照射部分が平坦であれば、撮像像(スリット画像)は直線になる〔図25(b)〕。照射部分に凹凸があれば、直線が曲がったり階段状になったりする〔図25(c)〕。つまり、計測装置と物体Qとの距離の大小が撮像面S2における反射光の入射位置に反映する〔図25(d)〕。スリット光Uをその幅方向に偏向することにより、受光側から見える範囲の物体表面を走査して3次元位置をサンプリングすることができる。サンプリング点数はイメージセンサの画素数に依存する。

【0005】図26において、投光の起点Aと受光系のレンズの主点Oとを結ぶ基線AOが受光軸と垂直になるように、投光系と受光系とが配置されている。受光軸は撮像面S2に対して垂直である。なお、レンズの主点と

は、有限遠の被写体の像が撮像面S2に結像したときの、いわゆる像距離 (image distance)  $b$  だけ撮像面S2から離れた受光軸上の点である。像距離 $b$ は、受光系の焦点距離 $f$ とピント調整のためのレンズ繰出し量との和である。

【0006】主点Oを3次元直交座標系の原点とする。

$$\text{基線長 } L = L_1 + L_2 = Z \tan \theta_a + Z \tan \theta_p$$

$$\therefore Z = L / (\tan \theta_a + \tan \theta_p) \quad \cdots (1)$$

なお、受光角 $\theta_p$ とは、点Pと主点Oとを結ぶ直線と、受光軸を含む平面 (受光軸平面) とのなす角度である。

【0008】撮像倍率 $\beta = b/Z$  であるので、撮像面S2の中心と受光画素とのX方向の距離を $x_p$ 、Y方向の距離を $y_p$ とすると〔図26(a)参照〕、点Pの座標X、Yは、(2)、(3)式で表される。

$$\text{【0009】 } X = x_p / \beta \quad \cdots (2)$$

$$Y = y_p / \beta \quad \cdots (3)$$

投光角 $\theta_a$ はスリット光Uの偏向の角速度によって一義

$$L = L_1 + L_2 = Z \tan \theta_a + (Z - M) \tan \theta_p$$

$$\therefore Z = (L + M \tan \theta_p) / (\tan \theta_a + \tan \theta_p) \quad \cdots (1B)$$

以上の原理のスリット光投影法による計測において、例えばCCDセンサのように撮像面S2が有限個の画素からなる撮像手段を用いた場合には、計測の分解能は撮像手段の画素ピッチに依存する。つまり、撮像面S2上での位置 $(x_p, y_p)$ はいずれかの画素の位置となり、画素ピッチに応じて分解能が決まってしまう。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】そこで、画素ピッチに依存することなく、高分解能で高精度の計測を可能とする計測装置を、本出願人は特願平7-299921号として先に提案した。この先願の計測装置では、スリット光Uの幅を拡げて撮像面S2上で5画素程度分とし、5画素の各光量の中のピーク値とその前後の画素の光量とを用い、それらの補間演算を行って光量が最大となるタイミング (ピーク位置) を求める。これによって、各画素のサンプリング周期の数分の1以下の細かなタイミングが得られる。なお、このタイミングは、上述したスリット光Uの投光角 $\theta_a$ に対応するものである。

【0013】ところが、レンズの歪み、ピンぼけ、その他の光学系の特性などに起因して、撮像手段からの出力にはノイズ成分が含まれることがある。ノイズ成分が含まれると、スリット光Uの幅内における光量分布が正規分布から外れ、ピーク位置が変動したり複数のピークが生じたりし、また分布が平坦になったりする。例えば、上述の先願の装置によってピーク位置を検出した場合には、ノイズによるピーク位置の変動が直接的に誤差となって表れる。特に、ピーク位置の近辺の光量変化が平坦に近い場合、例えば、受光光学系を長焦点側にズームすることによって撮像素子上での検出光の幅が拡大されている場合、又は投光光学系の構成に起因して検出光の分布が正規分布とならずピーク部分が平坦である場合

受光軸がZ軸、基線AOがY軸、スリット光の長さ方向がX軸である。スリット光Uが物体上の点P (X, Y, Z) を照射したときの投光軸と投光基準面 (受光軸と平行な投光面) との角度 (投光角) を $\theta_a$ 、受光角を $\theta_p$ とすると、点Pの座標Zは(1)式で表される。

【0007】

的に決まる。受光角 $\theta_p$ は $\tan \theta_p = y_p / b$ の関係から算出できる。つまり、撮像面S2上での位置 $(x_p, y_p)$ を測定することにより、そのときの投光角 $\theta_a$ に基づいて点Pの3次元位置を求めることができる。

【0010】図26(c)のように受光系にズームレンズ群を設けた場合には、主点Oは後側主点H' となる。後側主点H' と前側主点Hとの距離をMとすると、点Pの座標Zは(1B)式で表される。

【0011】

などでは、ノイズによってピーク位置が容易に変動してしまう。

【0014】このような問題を解決するには、光量のピーク値が得られたタイミングの前後の十分に長い期間の光量に基づいて補間演算を行えばよいが、回路構成が複雑になるという欠点がある。

【0015】本発明は、高分解能で高精度の計測が可能であり、構成が簡単でノイズの影響を受け難い画像処理装置を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明のシステムは、検出光を照射して物体を光学的に走査するための投光手段と、複数の受光領域からなる撮像面を有し、前記物体で反射した前記検出光を受光する撮像手段と、前記物体に対する前記検出光の照射方向を変化させる走査手段と、前記各受光領域に入射する前記検出光の光量情報を出力するように前記撮像手段を駆動する撮像制御手段と、予め決められた所定期間内の前記撮像手段の出力 $(x)$ とそれぞれの出力 $(x)$ が得られたタイミング $(i)$ とに基づいて重心演算を行うことにより、前記検出光が前記各受光領域を通過した通過タイミングを求める第1演算手段と、前記物体上の前記各受光領域に対応した部位の位置を、前記通過タイミングにおける照射方向と当該各受光領域に対する前記検出光の入射方向との関係に基づいて求める第2演算手段と、を有する。

【0017】請求項2の発明のシステムでは、前記第1演算手段は、前記所定期間内における前記出力 $(x)$ と前記タイミング $(i)$ との積 $(x \cdot i)$ の総計 $\Sigma (x \cdot i)$ を算出する第1加算部及び前記出力 $(x)$ の総計 $\Sigma (x)$ を算出する第2加算部と、前記第1加算部及び第2加算部からの出力に基づいて、時間重心 $N_{peak} =$

$\Sigma(x \cdot i) / \Sigma(x)$ を算出する除算部とを含む。

【0018】請求項3の発明のシステムでは、前記所定期間として、前記物体の計測可能距離範囲に対応する有効受光領域を前記検出光が通過する期間が用いられる。請求項4の発明のシステムは、検出光を照射して物体を光学的に走査するための投光手段と、複数の受光領域からなる撮像面を有し、前記物体で反射した前記検出光を受光する撮像手段と、前記物体に対する前記検出光の照射方向を変化させる走査手段と、前記各受光領域に入射する前記検出光の光量情報を出力するように前記撮像手段を駆動する撮像制御手段と、予め決められた受光幅内の前記各受光領域の位置(i)と各受光領域についての前記撮像手段の出力(x)とに基づいて重心演算を行うことにより、特定の照射方向に照射された前記検出光によって最大の光量情報の得られる前記撮像面上の位置を求める第3演算手段と、前記物体上の前記各受光領域に対応した部位の位置を、前記特定の照射方向と前記第3演算手段により求められた前記撮像面上の位置に対応する前記検出光の入射方向との関係に基づいて求める第4演算手段と、を有する。

【0019】請求項5の発明のシステムでは、前記第3演算手段は、前記各受光領域についての前記出力(x)と前記各受光領域の位置(i)との積( $x \cdot i$ )の総計 $\Sigma(x \cdot i)$ を算出する第1加算部及び前記出力(x)の総計 $\Sigma(x)$ を算出する第2加算部と、前記第1加算部及び第2加算部からの出力に基づいて、空間重心 $Mpeak = \Sigma(x \cdot i) / \Sigma(x)$ を算出する除算部とを含む。

【0020】請求項6の発明のシステムでは、前記受光幅として、前記物体の計測可能距離範囲に対応する有効受光領域が用いられる。上に述べたように、スリット光投影法に基づく3次元計測システムにおいて、物体上の点Pの3次元位置は、3次元計測システムからの検出光の照射方向つまり投光角 $\theta_a$ と3次元計測システムへの入射方向つまり受光角 $\theta_p$ との関係に基づいて求められる。

【0021】投光角 $\theta_a$ は、スリット光Uの偏向角に基づいて求められる。偏向角の変化量は、角速度と経過時間とに基づいて求められる。したがって、スリット光Uの任意の時点における偏向角は、偏向を開始した時点における偏向角(原点位置)、角速度、及び偏向を開始してから経過時間(計測のタイミング)に基づいて求められる。これらの物理量は、走査手段の駆動信号若しくは位置信号、制御のためのクロック信号、計測のためのサンプリング信号、又は内部時計などから得ることができる。

【0022】受光角 $\theta_p$ は、撮像面上の受光位置(y p)に基づいて求められる。CCDセンサのように撮像面が有限個の画素からなる撮像手段を用いた場合に、撮像面上の受光位置は、原始的にはいずれかの画素の位置

となり、画素ピッチによって精度が決まってしまう。

【0023】本発明では、精度を上げるために補間を行う。補間のために重心演算を行う。本明細書では、補間の方法として、つまり重心演算の方法として、時間重心演算の方法と空間重心演算の方法とが提案される。

【0024】時間重心演算の方法では、スリット光Uの偏向にともなって撮像面上の受光位置(y p)が移動するが、撮像面の各画素の出力(x)について、所定期間内における重心(時間重心)Npeakを演算する。ある画素について得られた時間重心Npeakは、その画素の出力(x)が最大となるときのタイミング(i)であるから、時間重心Npeakに基づいて投光角 $\theta_a$ が求められる。画素の位置は既知であり、それが正確な受光位置(x p, y p)である。受光位置(y p)から受光角 $\theta_p$ が正確に求められる。これら受光角 $\theta_p$ 及び投光角 $\theta_a$ から物体上の点Pの座標Zが正確に求められる。したがって、時間重心Npeak及び受光位置(x p, y p)に基づいて、物体上の点Pの3次元位置(X, Y, Z)が正確に求められる。

【0025】時間重心Npeakを演算するに当たっては、各画素毎に、所定期間内における撮像手段からの出力(x)を一定の周期でサンプリングし、サンプリング値である出力(x)とサンプリングのタイミング(i)との積( $x \cdot i$ )の総計 $\Sigma(x \cdot i)$ 、及び出力(x)の総計 $\Sigma(x)$ を算出する。これらから、時間重心 $Npeak = \Sigma(x \cdot i) / \Sigma(x)$ を算出する。

【0026】空間重心演算の方法では、スリット光Uの偏向にともなって撮像面上の受光位置(y p)が移動するが、特定の照射方向に照射されたスリット光Uつまり特定のタイミングのスリット光Uに対応する撮像面上の受光位置(y p)を、所定の受光幅における重心演算によって求める。つまり、所定の受光幅内にある複数の画素のそれぞれの位置(i)及びそれぞれの出力(x)から、出力(x)が最大となる受光位置(y p)を重心演算によって求める。求められた受光位置(y p)が空間重心Mpeakである。

【0027】空間重心Mpeakである受光位置(y p)に基づいて受光角 $\theta_p$ が求められる。スリット光Uについての特定のタイミングに基づいて投光角 $\theta_a$ が求められる。これら受光角 $\theta_p$ 及び投光角 $\theta_a$ から物体上の点Pの座標Zが正確に求められる。また、受光位置(x p)は各画素毎に既知である。したがって、空間重心Mpeak、スリット光Uについての特定のタイミング、及び受光位置(x p)に基づいて、物体上の点Pの3次元位置(X, Y, Z)が正確に求められる。

【0028】空間重心Mpeakを演算するに当たっては、撮像手段からの出力(x)を一定の周期でサンプリングする。各サンプリングのタイミングに対応して、所定の受光幅内の画素について、その位置(i)と出力(x)との積( $x \cdot i$ )の総計 $\Sigma(x \cdot i)$ 、及び出力

(x)の総計 $\Sigma(x)$ を算出する。これらから、空間重心 $M_{peak} = \Sigma(x \cdot i) / \Sigma(x)$ を算出する。

【0029】重心演算及び3次元位置の演算などに当たって、必ずしも物理量の単位に換算した値を用いる必要はなく、物理量などに対応したデータであればよい。また、演算の方法又はアルゴリズムは、適宜選定することができる。

【0030】重心演算及び3次元位置の演算などは、マイクロプロセッサなどによりプログラムを実行することによって、つまりソフトウェアによって行うことができる。また、重心演算又は3次元位置の演算の全部又は一部を行わせるための専用の論理回路を用いて、つまりハードウェアによって行うこともできる。また、ソフトウェアとハードウェアとを組み合わせた回路によって演算することもできる。

【0031】3次元計測システムは、光学的な計測を行う光学装置、及び演算を行うコンピュータなどにより構成することができる。光学装置とコンピュータとを別体としてもよく、又は一体としてもよい。光学装置とコンピュータとを別体とした場合に、光学装置に演算回路の一部を設けてもよい。

【0032】

【発明の実施の形態】図1は本発明に係る計測システム1の構成図である。計測システム1は、スリット光投影法によって立体計測を行う3次元カメラ（レンジファインダ）2と、3次元カメラ2の出力データを処理するホスト3とから構成されている。

【0033】3次元カメラ2は、物体Q上の複数のサンプリング点の3次元位置を特定する計測データとともに、物体Qのカラー情報を示す2次元画像及びキャリブレーションに必要なデータを出力する。三角測量法を用いてサンプリング点の座標を求める演算処理はホスト3が担う。

【0034】ホスト3は、CPU3a、ディスプレイ3b、キーボード3c、及びマウス3dなどから構成されたコンピュータシステムである。CPU3aには計測データ処理のためのソフトウェアが組み込まれている。ホスト3と3次元カメラ2との間では、オンライン及び可搬型の記録メディア4によるオフラインの両方の形態のデータ受渡しが可能である。記録メディア4としては、光磁気ディスク(MO)、ミニディスク(MD)、メモリカードなどがある。

【0035】図2は3次元カメラ2の外観を示す図である。ハウジング20の前面に投光窓20a及び受光窓20bが設けられている。投光窓20aは受光窓20bに対して上側に位置する。内部の光学ユニットOUが射出するスリット光（所定幅wの帯状のレーザビーム）Uは、投光窓20aを通して計測対象の物体（被写体）に向かう。スリット光Uの長さ方向M1の放射角度 $\phi$ は固定である。物体の表面で反射したスリット光Uの一部が

受光窓20bを通して光学ユニットOUに入射する。なお、光学ユニットOUは、投光軸と受光軸との相対関係を適正化するための2軸調整機構を備えている。

【0036】ハウジング20の上面には、ズーミングボタン25a、25b、手動フォーカシングボタン26a、26b、及びシャッターボタン27が設けられている。図2(b)のように、ハウジング20の背面には、液晶ディスプレイ21、カーソルボタン22、セレクトボタン23、キャンセルボタン24、アナログ出力端子32、デジタル出力端子33、及び記録メディア4の着脱口30aが設けられている。

【0037】液晶ディスプレイ(LCD)21は、操作画面の表示手段及び電子ファインダとして用いられる。撮影者は背面の各ボタン21~24によって撮影モードの設定を行うことができる。アナログ出力端子32からは、2次元画像信号が例えばNTSC形式で出力される。デジタル出力端子33は例えばSCSI端子である。

【0038】図3は3次元カメラ2の機能構成を示すブロック図である。図中の実線矢印は電気信号の流れを示し、破線矢印は光の流れを示している。3次元カメラ2は、上述の光学ユニットOUを構成する投光側及び受光側の2つの光学系40、50を有している。光学系40において、半導体レーザ(LD)41が射出する波長670nmのレーザビームは、投光レンズ系42を通過することによってスリット光Uとなり、ガルバノミラー（走査手段）43によって偏向される。半導体レーザ41のドライバ44、投光レンズ系42の駆動系45、及びガルバノミラー43の駆動系46は、システムコントローラ61によって制御される。

【0039】光学系50において、ズームユニット51によって集光された光はビームスプリッタ52によって分光される。半導体レーザ41の発振波長帯域の光は、計測用のセンサ53に入射する。可視帯域の光は、モニタ用のカラーセンサ54に入射する。センサ53及びカラーセンサ54は、どちらもCCDエリアセンサである。ズームユニット51は内焦型であり、入射光の一部がオートフォーカシング(AF)に利用される。AF機能は、AFセンサ57とレンズコントローラ58とフォーカシング駆動系59によって実現される。ズーミング駆動系60は電動ズーミングのために設けられている。

【0040】センサ53による撮像情報は、ドライバ55からのクロックに同期してメモリ63に格納される。カラーセンサ54による撮像情報は、ドライバ56からのクロックに同期してカラー処理回路67へ転送される。カラー処理を受けた撮像情報は、NTSC変換回路70及びアナログ出力端子32を経てオンライン出力され、又はデジタル画像生成部68で量子化されてカラー画像メモリ69に格納される。その後、カラー画像データがカラー画像メモリ69からSCSIコントローラ

66へ転送され、デジタル出力端子33からオンライン出力され、又は計測データと対応づけて記録メディア4に格納される。なお、カラー画像は、センサ53による距離画像と同一の画角の像であり、ホスト3側におけるアプリケーション処理に際して参考情報として利用される。カラー情報を利用する処理としては、例えばカメラ視点の異なる複数組の計測データを組み合わせて3次元形状モデルを生成する処理、3次元形状モデルの不要の頂点を間引く処理などがある。システムコントローラ61は、図示しないキャラクタジェネレータに対して、LCD21の画面上に適切な文字や記号を表示するための指示を与える。

【0041】出力処理回路62は、センサ53の出力する各画素gの光電変換信号を増幅する増幅器、及び光電変換信号を8ビットの受光データに変換するAD変換部を有している。メモリ63は、 $200 \times 32 \times 33$  Byteの記憶容量を持つ読み書き可能なメモリであり、出力処理回路62から出力される受光データを記憶する。メモリ制御回路63Aは、メモリ63への書込み及び読出しのアドレス指定を行う。

【0042】重心演算回路73は、メモリ63に記憶された受光データに基づいて、計測対象の物体の形状に対応した濃淡画像を生成して表示用メモリ74に出力し、また、3次元位置を算出するための基となるデータを算出し出力用メモリ64に出力する。LCD21の画面には、表示用メモリ74に記憶された濃淡画像、カラー画像メモリ69に記憶されたカラー画像などを表示する。重心演算回路73の構成及び動作については後で詳述する。

【0043】図4は投光レンズ系42の構成を示す模式図である。図4(a)は正面図であり、図4(b)は側面図である。投光レンズ系42は、コリメータレンズ421、バリエータレンズ422、及びエキスパンダレンズ423の3つのレンズから構成されている。半導体レーザ41が射出したレーザビームに対して、次の順序で適切なスリット光Uを得るための光学的処理が行われる。まず、コリメータレンズ421によってビームが平行化される。次にバリエータレンズ422によってレーザビームのビーム径が調整される。最後にエキスパンダレンズ423によってビームがスリット長さ方向M1に拡げられる。

【0044】バリエータレンズ422は、撮影距離及び撮影の画角に係わらず、センサ53に3以上の複数画素分の幅のスリット光Uを入射させるために設けられている。駆動系45は、システムコントローラ61の指示に従って、センサ53上でのスリット光Uの幅wを一定に保つようにバリエータレンズ422を移動させる。バリエータレンズ422と受光側のズームユニット51とは連動する。

【0045】ガルバノミラー43による偏向の以前にス

リット長を拡げることにより、偏向の後で行う場合に比べてスリット光Uの歪みを低減することができる。エキスパンダレンズ423を投光レンズ系42の最終段に配置することにより、すなわちガルバノミラー43に近づけることにより、ガルバノミラー43を小型化することができる。

【0046】図5は計測システム1における3次元位置の算出の原理図である。同図では理解を容易にするため、受光量のサンプリングについて5回分のみが示されている。また、図25及び図26に示す要素に対応する部分には同一の符号が付されている。

【0047】センサ53の撮像面S2上で複数画素分となる比較的幅の広いスリット光Uを物体Qに照射する。具体的にはスリット光Uの幅を5画素分とする。スリット光Uは、サンプリング周期毎に撮像面S2上で1画素ピッチpvだけ移動するように、図5の上から下に向かって偏向され、それによって物体Qが走査される。サンプリング周期毎にセンサ53から1フレーム分の受光データ(光電変換情報)が出力される。なお、この偏向は実際には等角速度で行われる。

【0048】撮像面S2の1つの画素gに注目すると、本実施形態においては、走査中に行う32回のサンプリングによって32回分の受光データが得られる。これら32回分の受光データに対する重心演算によって、注目画素gがにらむ範囲の物体表面agをスリット光Uの光軸が通過するタイミング(時間重心Npeak又は重心ip)を求める。

【0049】物体Qの表面が平面であって光学系の特性によるノイズがない場合には、注目画素gの受光量は、図5(b)に示すように、スリット光Uが通過するタイミングにおいて多くなり、通常、正規分布に近くなる。同図のようにn回目とその1つ前の(n-1)回目の間のタイミングで受光量が最大であった場合には、そのタイミングが時間重心Npeakとほぼ一致する。

【0050】求めた時間重心Npeakにおけるスリット光の照射方向と、注目画素に対するスリット光の入射方向との関係に基づいて、物体Qの位置(座標)を算出する。これにより、撮像面の画素ピッチpvで規定される分解能より高い分解能の計測が可能となる。

【0051】なお、注目画素gの受光量は物体Qの反射率に依存する。しかし、サンプリングの各受光量の相対比は受光の絶対量に係わらず一定である。つまり、物体色の濃淡は計測精度に影響しない。

【0052】図6はセンサ53の読出し範囲を示す図である。図6に示すように、センサ53における1フレームの読出しは、撮像面S2の全体ではなく、高速化を図るために撮像面S2の一部である有効受光領域(帯状画像)Aeのみを対象に行われる。有効受光領域Aeは、スリット光Uのある照射タイミングにおける物体Qの計測可能距離範囲d'(図16参照)に対応する撮像面S



2上の領域であり、スリット光Uの偏向に伴ってフレーム毎に1画素分ずつシフトする。本実施形態では、有効受光領域Aeのシフト方向の画素数は32に固定されている。CCDエリアセンサの撮影像の一部のみを読み出す手法は、特開平7-174536号公報に開示されている。

【0053】図7はセンサ53の撮像面S2におけるラインとフレームとの関係を示す図、図8～10はメモリ63における各フレームの受光データの記憶状態を示す図である。

【0054】図7に示すように、撮像面S2の最初のフレームであるフレーム1には、ライン1からライン32までの32(ライン)×200画素分の受光データが含まれる。フレーム2はライン2からライン33まで、フレーム3はライン3からライン34までというように、フレーム毎に1ライン分だけシフトされる。フレーム32はライン32からライン63までである。なお、上述したように1ラインを200画素としている。

【0055】これらフレーム1からフレーム32までの受光データが、出力処理回路62を介してメモリ63に順次転送され、図8に示す状態でメモリ63に記憶される。つまり、メモリ63には、フレーム1、2、3…の順に受光データが記憶される。各フレームに含まれるライン32のデータは、フレーム1については32ライン目、フレーム2については31ライン目というように、フレーム毎に1ラインづつ上方にシフトされている。フレーム1からフレーム32までの受光データがメモリ63に記憶されると、ライン32の各画素について、時間重心Npeakの算出が行われる。

【0056】ライン32についての演算が行われている間に、フレーム33の受光データがメモリ63に転送されて記憶される。図9に示すように、フレーム33の受光データは、メモリ63のフレーム32の次の領域に記憶される。フレーム33のデータがメモリ63に記憶されると、これらフレーム2からフレーム33までに含まれるライン33の各画素について、時間重心Npeakの算出が行われる。

【0057】ライン33についての演算が行われている間に、フレーム34の受光データがメモリ63に転送されて記憶される。図10に示すように、フレーム34の受光データは、フレーム1の記憶されていた領域に上書きされる。この時点ではフレーム1のデータは処理済であるため、上書きにより消去しても差し支えないからである。フレーム34のデータがメモリ63に記憶されると、ライン34の各画素について、時間重心Npeakの算出が行われる。フレーム34の受光データについての処理が終わると、フレーム35の受光データがフレーム2の記憶されていた領域に上書きされる。

【0058】このようにして、最終のラインであるライン231まで、合計200ライン分についての時間重心

Npeakの算出が行われる。上述のように、メモリ63に記憶された受光データのうち、順次不要になったデータの記憶された領域に新規の受光データを上書きして記憶するので、メモリ63の容量が低減される。

【0059】次に、重心演算回路73の構成及び重心演算回路73による時間重心Npeakの算出処理について説明する。図11は重心演算回路73の構成を示すブロック図、図12はデータの転送のタイミングの概念を示す図、図13は時間重心Npeakの概念を示す図である。

【0060】図13に示すように、時間重心Npeakは、32回のサンプリングによって得られた32個の受光データについての重心である。各画素についての32個の受光データに、1～32のサンプリング番号を付す。i番目の受光データはxiで表される。iは1～32の整数である。このとき、iは、1つの画素について、その画素が有効受光領域Aeに入ってからからのフレーム数を示している。

【0061】1～32番の受光データx1～x32についての重心ipは、32個の受光データについて、i・xiの総和Σi・xiをxiの総和Σxiで除すことにより求められる。すなわち、

【0062】

【数1】

$$i_p = \frac{\sum_{i=1}^{32} i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{32} x_i}$$

【0063】となる。重心演算回路73は、メモリ63から読み出したデータに基づいて、各画素についての重心ip(すなわち時間重心Npeak)を算出する。但し、メモリ63から読み出したデータをそのまま用いるのではなく、各データから定常光データksを減算した値(その値が負になるときは0)を用いる。つまり、センサ53から出力される受光データに対して、定常光データksの分だけ差し引いてオフセットを与えるのである。

【0064】定常光データksは、スリット光Uが入射していないときの画素の受光データに基づいて算出されるデータである。定常光データksは、予め定めた固定値を用いてもよく、又はセンサ53から出力されるデータを用いてリアルタイムで求めてもよい。固定値とする場合には、センサ53の出力が8ビット(256階調)である場合に、例えば「5」「6」又は「10」などとする。リアルタイムで求める場合には、1つの注目画素についての32個の受光データの前後各2画素分の受光データのそれぞれの平均値を求め、平均値の小さい方を定常光データksとすればよい。その理由は、有効受光

領域Aeの前後のいずれかにおいてはスリット光Uが入射していないから、これによってスリット光Uが入射していないときの受光データをリアルタイムで確実に求めることができるからである。また、前後各2画素分の受光データの平均値の大きい方を定常光データksとしてよい。32個の受光データの前の2画素分の受光データの平均値、又は32個の受光データの後の2画素分の受光データの平均値を用いてもよい。1画素分の受光データを用いてもよい。さらに、物体Qの形状又は受光データに含まれるノイズの状態によっては、それらの値にさらに所定値(例えば「5」)を加算した値を定常光データksとして用い、これによりオフセットを大きくし、不要なノイズ成分を一層確実にカットするようにしてもよい。なお、それらの場合に、1フレームの大きさは、36ライン又は34ライン又は33ラインとなるが、重心ipの算出には32ライン分の32個のデータを用いればよい。

【0065】さて、図11において、重心演算回路73は、定常光データ記憶部731、減算部732、第1加算部733、第2加算部734、及び除算部735からなる。これらはソフトウェアを用いることによって実現されるが、これらの全部又は一部をハードウェア回路により構成することも可能である。

【0066】定常光データ記憶部731は、定常光データksを記憶する。減算部732は、入力された受光データから定常光データksを減算する。ここで、減算部732から出力されるデータをあらためて受光データxiとする。第1加算部733は、 $i \cdot xi$ を $i=1 \sim 32$ について加算し、その合計値を出力する。第2加算部734は、xiを $i=1 \sim 32$ について加算し、その合計値を出力する。除算部735は、第1加算部733の出力値を第2加算部734の出力値で除し、重心ipを出力する。除算部735から出力された重心ipは、表示用メモリ74に記憶される。また、第1加算部733の出力値及び第2加算部734の出力値は、それぞれ出力用メモリ64a、bに記憶される。出力用メモリ64a、bに記憶されたデータは、SCSIコントローラ66を介してデジタル出力端子33からホスト3に出力され、又は記録メディア4に格納される。ホスト3において、これらのデータに基づいて3次元位置演算処理が行われ、またこれらのデータの信頼性が判定される。

【0067】図12を参照して、メモリ制御回路63Aは、1つの画素について、重心演算回路73による上述の処理が行われるように、メモリ63のアドレスを画素毎に順次指定する。例えば、最初のライン32については、図8に示すフレーム1に含まれるライン32の1画素目のデータ、フレーム2に含まれるライン32の1画素目のデータというように、ライン32の1画素目のデータについてフレーム1から32までの合計32個のデータを順にアドレス指定する。アドレス指定されること

によって、メモリ63からデータが読み出されて重心演算回路73に送り込まれる。ライン32についての演算が行われている間に、次のフレーム33の受光データがメモリ63に転送される。以降においても、メモリ63からの読み出しと書き込みが並行して行われ、これによって回路が効率よく動作する。

【0068】重心演算回路73では、32個のデータが入力された時点で、除算部735が重心ipを出力する。続いて、2画素目のデータ、3画素目のデータというように、200画素目のデータまで順に処理を行い、ライン32についての重心ipの算出を終了する。ライン32についての重心ipの算出を終えたと、続いて、ライン33、ライン34、ライン35というように、ライン231まで、200ラインの全部について重心ipの算出を行う。

【0069】なお、CCDエリアセンサであるセンサ53は、積分領域及び蓄積領域を有し、積分領域での積分動作が完了すると電荷を蓄積領域へ一括転送し、蓄積領域から外部に順次出力する。

【0070】表示用メモリ74に記憶された重心ipは、LCD21の画面に表示される。重心ipは、計測対象の物体Qの表面の位置に関連し、物体Qの表面の位置が3次元カメラ2に近い場合に重心ipの値が大きくなり、遠い場合に重心ipの値が小さくなる。したがって、重心ipを濃度データとして濃淡画像を表示させることにより距離分布を表現することができる。

【0071】次に、3次元カメラ2及びホスト3の動作を計測の手順と合わせて説明する。上述したように、計測のサンプリング点数を $200 \times 262$ とする。すなわち、撮像面S2におけるスリットUの幅方向の画素数は262であり、実質的なフレーム数Nは231である。

【0072】ユーザー(撮影者)は、LCD21が表示するカラーモニタ像を見ながら、カメラ位置と向きとを決め、画角を設定する。その際、必要に応じてズーム操作を行う。3次元カメラ2ではカラーセンサ54に対する絞り調整は行われず、電子シャッター機能により露出制御されたカラーモニタ像が表示される。これは、絞りを開放状態とすることによってセンサ53の入射光量をできるだけ多くするためである。

【0073】図14は3次元カメラ2におけるデータの流れを示す図、図15はホスト3における3次元位置演算の処理手順を示すフローチャート、図16は光学系の各点と物体Qとの関係を示す図である。

【0074】ユーザーによる画角選択操作(ズーム)に応じて、ズームユニット51のバリエータ部514の移動が行われる。また、フォーカシング部512の移動による手動又は自動のフォーカシングが行われる。フォーカシングの過程でおおよその対物間距離 $d_0$ が測定される。

【0075】このような受光系のレンズ駆動に呼応し

て、投光側のバリエータレンズ422の移動量が図示しない演算回路によって算出され、算出結果に基づいてバリエータレンズ422の移動制御が行われる。

【0076】システムコントローラ61は、レンズコントローラ58を介して、フォーカシングエンコーダ59Aの出力（繰り出し量Ed）及びズームエンコーダ60Aの出力（ズーム刻み値fp）を読み込む。システムコントローラ61の内部において、歪曲収差テーブルT1、主点位置テーブルT2、及び像距離テーブルT3が参照され、繰り出し量Ed及びズーム刻み値fpに対応した撮影条件データがホスト2へ出力される。ここでの撮影条件データは、歪曲収差パラメータ（レンズ歪み補正係数d1、d2）、前側主点位置FH、及び像距離bである。前側主点位置FHは、ズームユニット51の前側端点Fと前側主点Hとの距離で表される。前側端点Fは固定であるので、前側主点位置FHにより前側主点Hを特定することができる。

【0077】システムコントローラ61は、半導体レーザ41の出力（レーザ強度）及びスリット光Uの偏向条件（走査開始角、走査終了角、偏向角速度）を算定する。この算定方法を詳しく説明する。まず、おおよその対物間距離d<sub>0</sub>に平面物体が存在するものとして、センサ53の中央で反射光を受光するように投射角設定を行う。以下で説明するレーザ強度の算定のためのパルス点灯は、この設定された投射角で行う。

【0078】次にレーザ強度を算定する。レーザ強度の算定に際しては、人体を計測する場合があるので、安全性に対する配慮が不可欠である。まず、最小強度LDminでパルス点灯し、センサ53の出力を取り込む。取り込んだ信号〔Son(LDmin)〕と適正レベルStypとの比を算出し、仮のレーザ強度LD1を設定する。

【0079】 $LD1 = LDmin \times Styp / MAX[Son(LDmin)]$

続いてレーザ強度LD1で再びパルス点灯し、センサ53の出力を取り込む。取り込んだ信号〔Son(LD1)〕が適正レベルStyp又はそれに近い値であれば、LD1をレーザ強度LDsと決める。他の場合には、レーザ強度LD1とMAX〔Son(LD1)〕とを用いて仮のレーザ強度LD1を設定し、センサ53の

出力と適正レベルStypとを比較する。センサ53の出力が許容範囲内の値となるまで、レーザ強度の仮設定と適否の確認とを繰り返す。なお、センサ53の出力の取り込みは、撮像面S2の全面を対象に行う。これは、AFによる受動的な距離算出では、スリット光Uの受光位置を高精度に推定することが難しいためである。センサ53におけるCCDの積分時間は1フィールド時間（例えば1/60秒）であり、実際の計測時における積分時間より長い。このため、パルス点灯を行うことにより、計測時と等価なセンサ出力を得る。

【0080】次に、投射角と、レーザ強度が決定したときのスリット光Uの受光位置から、三角測量により対物間距離dを決定する。最後に、決定された対物間距離dに基づいて、偏向条件を算出する。偏向条件の算定に際しては、対物間距離dの測距基準点である受光系の前側主点Hと投光の起点AとのZ方向のオフセットdoffを考慮する。また、走査方向の端部においても中央部と同様の計測可能距離範囲d'を確保するため、所定量（例えば8画素分）のオーバースキャンを行うようにする。走査開始角th1、走査終了角th2、偏向角速度ωは、次式で表される。

【0081】 $th1 = \tan^{-1} \{ \beta \times pv (np/2 + 8) + L \} / (d + doff) \} \times 180 / \pi$

$th2 = \tan^{-1} \{ -\beta \times pv (np/2 + 8) + L \} / (d + doff) \} \times 180 / \pi$

$\omega = (th1 - th2) / np$

β：撮像倍率（=d/実効焦点距離freal）

pv：画素ピッチ

np：撮像面S2のY方向の有効画素数

L：基線長

このようにして算出された条件で次に本発光に移り、物体Qの走査（スリット投影）が行われ、上述の出力処理回路52、メモリ63、及び重心演算回路73を経て出力用メモリ64に記憶されたデータD62がホスト2へ送られる。同時に、偏向条件（偏向制御データ）及びセンサ53の仕様などを示す装置情報D10も、ホスト3へ送られる。表1は3次元カメラ2がホスト3へ送る主なデータをまとめたものである。

【0082】

【表1】

	データの内容	データレンジ
計測データ	$\sum x_i$ 200×200 ×13bit $\sum i \cdot x_i$ 200×200 ×18bit	
撮影条件	像距離 $b$ 前側主点位置 $FH$ スリット偏向開始角度 $th1$ 偏向角速度 $\omega$	0.000~200.000 0.00~300.00
装置情報	計測の画素数 (サンプリグ数 $X, Y$ 方向) センサ画素ピッチ $p_u, p_v$ 投光系姿勢 ( $X, Y, Z$ 軸周り) 投光系姿勢 ( $X, Y, Z$ 軸方向) レンズ歪み補正係数 $d1, d2$ センサ中心画素 $u0, v0$	1~ ~0.00516 ~ 0.00~±90.00 0.00~±300.00 0.00~256.00
2次元画像	Rプレーン 512×512 ×8bit Gプレーン 512×512 ×8bit Bプレーン 512×512 ×8bit	0~255 0~255 0~255

【0083】図15のように、ホスト3においては、3次元位置演算処理が実行され、これによって200×200個のサンプリグ点(画素)の3次元位置(座標  $X, Y, Z$ )が算定される。サンプリグ点はカメラ視線(サンプリグ点と前側主点  $H$  とを結ぶ直線)とスリット面(サンプリグ点を照射するスリット光  $U$  の光軸面)との交点である。

【0084】図15において、まず3次元カメラ2から送られてきた  $x_i$  の総和  $\sum x_i$  が所定値を上回っているかどうかを判定する(#11)。 $x_i$  が小さい場合、つまりスリット光成分の総和  $\sum x_i$  が所定の基準に満たない場合には誤差を多く含んでいるので、その画素については3次元位置の算出を実行しない。そして、その画素については「エラー」を示すデータを設定して記憶する(#17)。 $\sum x_i$  が所定値を上回っている場合には十分な精度が得られるので、3次元位置の算出を実行する。

【0085】3次元位置の算出に先立って、スリット光  $U$  の通過タイミング  $nop$  を算出する(#12)。通過タイミング  $nop$  は、 $i=1 \sim 32$  について  $(\sum i \cdot x_i) / (\sum x_i)$  を計算して重心  $ip$  (時間重心  $Npeak$ ) を求め、これにライン番号を加算することによ

て算出される。

【0086】すなわち、算出された重心  $ip$  は、その画素の出力が得られている32フレーム内のタイミングであるので、ライン番号を加えることによって走査開始からの通過タイミング  $nop$  に変換する。具体的には、ライン番号は、最初に算出されるライン32の画素については「32」、次のライン33については「33」となる。注目画素  $g$  のラインが1つ進む毎にライン番号は1つ増大する。しかし、これらの値は他の適当な値とすることが可能である。その理由は、3次元位置を算出する際に、係数である後述の(6)式における  $X$  軸周りの回転角 ( $the1$ ) 及び  $X$  軸周りの角速度 ( $the4$ ) などをキャリブレーションにより適切に設定することができるからである。

【0087】そして3次元位置算出を行う(#13)。算出された3次元位置は、その画素に対応するメモリ領域に記憶し(#14)、次の画素について同様の処理を行う(#16)。総ての画素についての処理が終わると終了する(#15でイエス)。

【0088】次に、3次元位置の算出方法について説明する。カメラ視線方程式は次の(4)式及び(5)式である。

$$(u-u0) = (xp) = (b/pu) \times [X / (Z-FH)] \quad \dots (4)$$

$$(v-v0) = (yp) = (b/pv) \times [Y / (Z-FH)] \quad \dots (5)$$

$b$  : 像距離

$FH$  : 前側主点位置

$pu$  : 撮像面における水平方向の画素ピッチ

$pv$  : 撮像面における垂直方向の画素ピッチ

$u$  : 撮像面における水平方向の画素位置

$u0$  : 撮像面における水平方向の中心画素位置

$v$  : 撮像面における垂直方向の画素位置

$v0$  : 撮像面における垂直方向の中心画素位置

スリット面方程式は(6)式である。

【0089】

【数2】

$$\begin{bmatrix} \cos(\text{the3}) & -\sin(\text{the3}) & 0 \\ \sin(\text{the3}) & \cos(\text{the3}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\text{the2}) & 0 & \sin(\text{the2}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\text{the2}) & 0 & \cos(\text{the2}) \end{bmatrix} \\ \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\text{the1}+\text{the4} \cdot \text{nop}) & -\sin(\text{the1}+\text{the4} \cdot \text{nop}) \\ 0 & \sin(\text{the1}+\text{the4} \cdot \text{nop}) & \cos(\text{the1}+\text{the4} \cdot \text{nop}) \end{bmatrix} \\ \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X & Y-L & Z-s \end{bmatrix} = 0 \quad \dots (6)$$

the1: X軸周りの回転角  
 the2: Y軸周りの傾き角  
 the3: Z軸周りの傾き角  
 the4: X軸周りの角速度  
 nop: 通過タイミング (=時間重心Npack+ライン番号)  
 L: 基線長  
 s: 起点Aのオフセット

【0090】幾何収差は画角に依存する。歪はほぼ中心画素を中心として対称に生じる。したがって、歪み量は中心画素からの距離の関数で表される。ここでは、距離の3次関数で近似する。2次の補正係数をd1、3次の

補正係数をd2とする。補正後の画素位置u', v'は(7)式及び(8)式で与えられる。

【0091】

$$u' = u + d1 \times t2^2 \times (u - u0) / t2 \\ + d2 \times t2^3 \times (u - u0) / t2 \quad \dots (7)$$

$$v' = v + d1 \times t2^2 \times (v - v0) / t2 \\ + d2 \times t2^3 \times (v - v0) / t2 \quad \dots (8)$$

$$t2 = (t1)^{-2}$$

$$t1 = (u - u0)^2 + (v - v0)^2$$

上述の(4)式及び(5)式において、uに代えてu'を代入し、vに代えてv'を代入することにより、歪収差を考慮した3次元位置を求めることができる。なお、キャリブレーションについては、電子情報通信学会研究会資料PRU91-113「カメラの位置決めのための画像の幾何学的補正」小野寺・金谷、電子情報通信学会論文誌D-II vol. J74-D-II No.9 pp.1227-1235, '91/9「光学系の3次元モデルに基づくレンジファインダの高精度キャリブレーション法」植芝・吉見・大島、などに詳しい開示がある。

【0092】次に、本発明に係る他の実施形態の3次元カメラ2Bについて、図17乃至図24を参照して説明する。図17乃至図24において、図3及び図11の要素と同一の機能を有する要素には同一の符号を付す。

【0093】図17は他の実施形態の3次元カメラ2Bの機能構成を示すブロック図である。図17に示す3次元カメラ2Bでは、その重心演算回路73Bの構成及び動作が上に述べた図3の3次元カメラ2Bと相違しているが、その他の構成は図3の3次元カメラ2Bと同一である。したがって、ここでは重心演算回路73Bのみについて説明する。

【0094】図3に示す重心演算回路73は、メモリ63から読み出された受光データに対しソフトウェアによって重心演算を行うものであったが、図17に示す距離演算回路73Bは、ハードウェアによって重心演算を行うものである。したがって、重心演算回路73Bによると処理が高速に行われる。

【0095】重心演算回路73Bとして、重心演算の方

法に応じて種々の回路が考えられる。重心演算の方法には次の2つがある。その1つは、スリット光Uがセンサ53上の特定の画素における複数のサンプリング時刻でのデータ列に基づいて演算を行う方法である。他の1つは、あるサンプリング時刻に得られたスリット光Uのセンサ53上の空間的なデータ列に基づいて演算を行う方法である。本明細書において、前者を「時間重心演算」、後者を「空間重心演算」と言う。図11において説明した重心演算は時間重心演算である。ここでは、時間重心演算及び空間重心演算の両方について、具体的な回路を説明する。

【0096】先に、時間重心演算の方法を実現する具体的な回路として、図18及び図21に示す2つの例を説明する。図18の重心演算回路73B1は、時系列に入力される受光データをFIFO (first in first out) メモリに保持しておき、必要なデータが蓄えられてから重心演算を実施するように構成されている。また、図21の重心演算回路73B2は、時系列に入力される受光データを、逐次演算し、デュアルポートメモリであるVRAMにより構成されるメモリ部に、分子データ及び分母データとして累積加算して蓄積し、その結果を除算器を通して出力するように構成される。

【0097】まず、FIFOメモリを使った重心演算回路73B1について説明する。図18はFIFOメモリを使った重心演算回路73B1の例を示す図、図19はメモリ63B1の詳細な構成の例を示す図、図20はメモリ63B1の動作を模式的に説明するための図である。

【0098】図18において、出力処理回路62から時系列に入力される受光データは、減算器732Bにおい

て定常光成分 $k_s$ が取り除かれた後、FIFOメモリであるメモリ63B1に順次保持される。メモリ63B1は、メモリ制御回路63A1によって書き込み及び読出しの制御が行われる。

【0099】図19の上列に記載されたFIFOメモリ633a1~633a31において、FIFOメモリ633a1は $200 \times 31$ 段、FIFOメモリ633a2は $200 \times 30$ 段、FIFOメモリ633a3は $200 \times 29$ 段…、FIFOメモリ633a31は $200 \times 1$ 段というように、 $i$ 番目のFIFOメモリ633aiは、 $200 \times (32 - i)$  段のFIFOメモリとなっている。また、下列に記載されたFIFOメモリ633b1~633b32は、それぞれ、 $200 \times 1$  段のFIFOメモリである。

【0100】( $i - 1$ ) 番目のFIFOメモリ633a( $i - 1$ ) から出力されるデータのうち、その最初の200画素分のデータは $i$  番目のFIFOメモリ633biへ送られ、それ以降のデータはFIFOメモリ633aiへ送られる。

【0101】FIFOメモリ633biへのデータが全て送られると、つまりFIFOメモリ633biに200画素分のデータが送られると、FIFOメモリ633b1の1画素目( $n, 1, 1$ )、FIFOメモリ633b2の1画素目( $n - 1, 2, 1$ )、FIFOメモリ633b3の1画素目( $n - 2, 3, 1$ )…、FIFOメモリ633b32の1画素目( $n - 31, 32, 1$ )というように、全てのFIFOメモリ633bi( $i = 1 \sim 32$ ) について、その1画素目( $n - i + 1, i, 1$ ) を順次読み出す。そして、次は全てのFIFOメモリ633bi( $i = 1 \sim 32$ ) の2画素目( $n - i + 1, i, 2$ ) を順次読み出し、さらに次は全てのFIFOメモリ633bi( $i = 1 \sim 32$ ) の3画素目( $n - i + 1, i, 3$ ) を順次読み出すというように、FIFOメモリ633biから各画素のデータを点順次に読み出す。これによって、センサ53の特定の画素についての時系列データが取り出される。

【0102】なお、図に示された $S(n, i, h)$  は、 $n$  番目のフレーム( $n$  フレーム目)において $i$  ライン目に読み出された受光データ列の水平座標 $h$ のデータを意味する。

【0103】こうして読み出された32個の時系列データ、 $S(n, 1, h)$ 、 $S(n - 1, 2, h)$ …、 $S(n - i + 1, i, h)$ …、 $S(n - 31, 32, h)$  を、順次演算することによって、時間重心 $N_{peak}$ を求める。

【0104】上に述べた32個の時系列データ $S(n, i, h)$  は、センサ53の同一画素におけるサンプリング時刻の異なる受光データであるから、1~32のサンプリング番号を付し、 $i$  番目の受光データを「 $x_i$ 」で表すと、図13に示すように時間重心 $N_{peak}$ は32

回のサンプリングによって得られた32個の受光データ $x_1 \sim x_{32}$ についての重心 $i_p$ と一致する。

【0105】図18において、メモリ63B1で得られた受光データ $S(n, i, h)$ 、すなわち $x_i$ は、乗算器736、加算器737及び分子データを保持するレジスタ733Bからなる分子演算部、加算器738及び分母データを保持するレジスタ734Bからなる分母演算部、並びに分母分子データを除算する除算器735Bから構成される演算部により演算され、これによって重心 $i_p$  (時間重心 $N_{peak}$ ) が求められる。これらはハードウェアで構成されているが、これらの全部又は一部をソフトウェアで実現することも可能である。

【0106】なお、分子データを保持するレジスタ733B及び分母データを保持するレジスタ734Bのデータは、除算器735Bへ出力されて重心演算される他、それぞれ出力用メモリ64b、64aへも出力されて記憶される。

【0107】次に、デュアルポートメモリであるVRAMを使った重心演算回路73B2について説明する。図21はデュアルポートメモリであるVRAM631、632を使った重心演算回路73B2を示す図、図22はVRAM631、632の各アドレス $py$ に格納されるデータのライン番号を示す図である。

【0108】図21において、出力処理回路62から時系列に入力される受光データは、減算器732Bにおいて定常光成分 $k_s$ が取り除かれる。定常光成分 $k_s$ が取り除かれたデータについて、 $n$  番目のフレームの $i$  ライン目に読み出される水平座標 $h$ の受光データを $S(n, i, h)$  で表す。

【0109】VRAM631、632は、それぞれ、 $200 \times 32$  Byteの記憶容量を持つ読み書き可能なデュアルポートメモリであり、任意のアドレスにランダムアクセスが可能なランダムアクセスポートと、アドレス指定されたラインについて1ライン分のデータを連続的に読み出すことの可能なシリアルアクセスポートとを備えている。図中のレジスタ「SAM」はシリアルアクセスポートとして機能するものであり、VRAM631、632中のアドレス指定された1つのラインのデータがレジスタ「SAM」に転送され、レジスタ「SAM」から1ライン分のデータが読み出される。

【0110】VRAM631、632にアクセスする際のアドレス( $px, py$ )は、次のように指定される。つまり、受光データ $S(n, i, h)$  をアクセスする場合のアドレス( $px, py$ )は次のようになる。

【0111】 $px = h$   
 $py = (n + i - 1) - 32 \times \text{INT}((n + i - 1) / 32)$

書き込みの場合にはアドレス( $px, py$ )が指定され、読み出しの場合にはアドレス $py$ が指定される。なお、本実施形態において、アドレス $py$ は0~31であ

り、これはライン番号1～32に対応する。

【0112】さて、一方のVRAM631には除算の分子データが格納され、他方のVRAM632には除算の分母データが格納される。例えば、センサ53の $(n+i-1)$ 番目のラインに対応する分子データは、VRAM631の上述の式から求められるアドレス $p_y$ によって指定されるラインに累積される。

【0113】VRAM631, 632への書込みに先立って、つまりセンサ53の各ラインの読出しに先立って、VRAM631, 632の中のアドレス $p_y$ で指定されるラインのデータは、シリアルアクセスポートにセットされる。シリアルアクセスポートから読み出されたデータは、加算器737, 738に入力され、センサ53の注目画素に対応するデータと加算される。加算されたデータ、つまり加算器737, 738から出力されたデータは、VRAM631, 632の指定されたアドレス $(p_x, p_y)$ に、ランダムアクセスポートから書き込まれる。このような処理が1ライン分の200画素について行われ、VRAM631, 632の1つのラインのデータが更新される。このようにして、センサ53における注目画素に対応するデータが32フレーム分にわたって累積される。

【0114】VRAM631, 632の各ラインにセンサ53の32フレーム分のデータが累積されると、次のフレームのデータつまり次のラインのデータが書き込まれる前に、32ライン分の累積値がシリアルアクセスポートから除算器735Bへ出力される。

【0115】除算器735Bにおいて、32ライン分の累積値である分子データ及び分母データによる除算を行うことによって重心 $i_p$  (時間重心 $N_{peak}$ ) が求められ、表示用メモリ74へ出力される。また、VRAM631, 632から出力される分子データ及び分母データは、出力用メモリ64b, 64aへも出力され記憶される。

【0116】上に述べたVRAM631, 632の動作は、メモリ制御回路63A2によって制御される。なお、乗算器736は、分子データに重み計数 $i$ を乗じるためのものである。

【0117】次に、空間重心演算の方法を実現する具体的な回路として、図18及び図24に示す2つの例を説

$S(n, 1, 1), S(n, 2, 1), S(n, 3, 1) \dots, S(n, 31, 1), S(n, 32, 1),$

$S(n, 1, 2), S(n, 2, 2), S(n, 3, 2) \dots, S(n, 31, 2), S(n, 32, 2),$

$\dots\dots\dots$

$S(n, 1, 200), S(n, 2, 200), S(n, 3, 200) \dots, S(n, 31, 200), S(n, 32, 200)$

というようなデータ列として後段の演算回路へ入力される。

【0123】受光データ $S(n, i, h)$ は、同一の水平座標 $h$ に対しては32個の同一時刻における垂直方向にサンプルされたデータであるから、1～32のサンプリング番号を付し、 $i$ 番目のデータを $x_i$ で表すと、空

明する。図18の重心演算回路73B1は、上述したように、時系列に入力される受光データをFIFOメモリに保持しておき、必要なデータが蓄えられてから重心演算を実施するように構成されている。図18において、上述の時間重心演算の方法とはFIFOメモリの構成が異なる。また、図24の重心演算回路73B3は、時系列に入力される受光データを、逐次演算し、2組のレジスタ群で構成されるメモリ部に、分子データ及び分母データとして累積加算して蓄積し、その結果を除算器を通して出力するように構成されている。

【0118】まず、図18に示すFIFOメモリを使った重心演算回路73B1について説明する。図18において、出力処理回路62から時系列に入力される受光データは、減算器732Bにおいて定常光成分 $k_s$ が取り除かれた後、FIFOメモリであるメモリ63Bに順次保持される。

【0119】図23はメモリ63B2の詳細な構成の例を示す図である。図23の上列に記載されたFIFOメモリ634a1～634a32、及び下列に記載されたFIFOメモリ634b1～634b32は、それぞれ、 $200 \times 1$ 段のFIFOメモリである。

【0120】 $n$ 番目のフレームでは、 $i$ 番目のFIFOメモリ634a $i$ がデータを書き込む動作を行い、同時に、FIFOメモリ634b $i$ がその1フレーム前である $(n-1)$ 番目のフレームに書き込まれたデータを順次読み出す。また、1フレーム後である $(n+1)$ 番目のフレームでは、FIFOメモリ634b $i$ がデータを書き込む動作を行い、同時にFIFOメモリ634a $i$ が $n$ 番目のフレームに書き込んだデータを順次読み出す。このような読み書きの動作はメモリ制御回路63A1によって制御される。

【0121】すなわち、今、FIFOメモリ634a1のデータが読み出されるよう制御されているとすると、FIFOメモリ634a32, 634a31, 634a30..., 634a2, 634a1の順に、各FIFOメモリ634a $i$ の1画素目のデータが読み出される。そして次に、同様の順に2画素目のデータが読み出され、次に3画素目のデータというように、200画素目まで順に読み出される。

【0122】読み出されたデータは、

間重心 $N_{peak}$ は32回のサンプリングによって得られた32個の受光データ $x_1 \sim x_{32}$ についての重心 $i_p$ と一致する。

【0124】図18において、メモリ63B2で得られた受光データ $S(n, i, h)$ すなわち $x_i$ は、乗算器736、加算器737及び分子データを保持するレジス

タ733Bからなる分子演算部、加算器738及び分母データを保持するレジスタ734Bからなる分母演算部、並びに分母分子データを除算する除算器735Bから構成される演算部により演算され、これによって重心 $i_p$  (空間重心 $Mpeak$ ) が求められる。

【0125】なお、分子データを保持するレジスタ733B及び分母データを保持するレジスタ734Bのデータは、除算器735Bへ出力されて重心演算される他、それぞれ出力用メモリ64b、64aへも出力されて記憶される。

【0126】次に、2組のレジスタ群で構成されるメモリ部を使った重心演算回路73B3について説明する。図24において、出力処理回路62から時系列に入力される受光データは、減算器732Bにおいて定常光成分 $k_s$ が取り除かれる。ここでは、定常光成分 $k_s$ が取り除かれたデータを受光データ $S(n, i, h)$ とする。分子データについては、乗算器736によって重み計数 $i$ が乗じられる。

【0127】レジスタ635～638は、それぞれ、200Byteの記憶容量を持つ読み書き可能なメモリである。レジスタ635、636には分子データが格納され、レジスタ637、638には分母データが格納される。

【0128】また、レジスタ635、637には更新後のデータが格納され、レジスタ636、638には更新前のデータが格納される。つまり、レジスタ635、637にそれまでに累積された水平座標 $h$ のデータは、センサ53の各ラインの読出しに先立ってレジスタ636、638に転送されて記憶され、レジスタ636、638に記憶されたデータと次の受光データとが加算されてレジスタ635、637に書き込まれる。レジスタ635～638への読み書きは、センサ53の各ラインの読出しに同調して行われるよう、メモリ制御回路63A3によって制御される。

【0129】こうして逐次演算された分子データ及び分母データは、それぞれ32回累積加算された後、レジスタ635、637から除算器735Bに出力され、重心 $i_p$  (空間重心 $Mpeak$ ) が求められる。

【0130】上述の実施形態によると、時間重心演算の方法において、スリット光 $U$ の通過タイミング $n_{op}$ を受光量のピークタイミングに基づいて検出するのではなく、有効受光領域 $A_e$ に入っている所定期間(本実施形態では32ライン分の期間)内における重心演算で算出される重心 $i_p$  (時間重心 $Npeak$ ) に基づいて検出するので、ノイズの影響を受け難い。また、予め決められた期間の出力を使用するので、ピーク検出回路が不要である。

【0131】上述の実施形態においては、所定期間を有効受光領域 $A_e$ に入っている全期間である32ライン分としたので、計測可能距離範囲 $d'$  内にある物体 $Q$ に対

して確実に時間重心 $Npeak$ を算出することができる。しかし、例えば、受光量のピークの存在する前後における適当な期間、例えばピークの前後15ライン分、10ライン分、5ライン分などとすることも可能である。このように、所定期間をピークとの関連で定めると、物体 $Q$ の表面からの正規の検出光以外の光による影響を少なくすることができる。

【0132】上述の実施形態によると、空間重心演算の方法において、特定のタイミングにおける受光量の最大位置を、有効受光領域 $A_e$ 内の画素(本実施形態では32ラインにわたる32個の画素)における重心演算で算出される重心 $i_p$  (空間重心 $Mpeak$ ) に基づいて検出するので、ノイズの影響を受け難い。また、予め決められた受光幅内の出力を使用するので、ピーク検出回路が不要である。

【0133】上述の実施形態では、データD62に基づいて3次元位置を算出したが、重心演算回路73、73Bで求めた重心 $i_p$ のデータに基づいて3次元位置を算出してもよい。また、3次元位置を算出する演算をホスト3が担うものであるが、3次元カメラ2に3次元位置を算出する演算機能を設けてもよい。3次元位置をルックアップテーブル方式で算定することも可能である。受光側の光学系50において、ズームユニット51に代えて交換レンズによって撮像倍率を変更してもよい。その他、3次元カメラ2、2B、ホスト3、又は計測システム1の全体又は各部の構成、処理内容又は順序、処理タイミングなどは、本発明の主旨に沿って適宜変更することができる。

【0134】

【発明の効果】請求項1乃至請求項6の発明によれば、高分解能で高精度の計測が可能であり、構成が簡単でノイズの影響を受け難い3次元計測装置を提供することができる。

【0135】請求項3の発明によると、計測可能距離範囲内にある物体に対して確実に通過タイミングを算出することができる。請求項6の発明によると、空間重心を求めるための演算に要する時間が短縮される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る計測システムの構成図である。

【図2】3次元カメラの外観を示す図である。

【図3】3次元カメラの機能構成を示すブロック図である。

【図4】投光レンズ系の構成を示す模式図である。

【図5】計測システムにおける3次元位置の算出の原理図である。

【図6】センサの読出し範囲を示す図である。

【図7】センサの撮像面におけるラインとフレームとの関係を示す図である。

【図8】メモリにおける各フレームの受光データの記憶状態を示す図である。



【図9】メモリにおける各フレームの受光データの記憶状態を示す図である。

【図10】メモリにおける各フレームの受光データの記憶状態を示す図である。

【図11】重心演算回路の構成を示すブロック図である。

【図12】データの転送のタイミングの概念を示す図である。

【図13】時間重心の概念を示す図である。

【図14】3次元カメラにおけるデータの流れを示す図である。

【図15】ホストにおける3次元位置演算の処理手順を示すフローチャートである。

【図16】光学系の各点と物体との関係を示す図である。

【図17】他の実施形態の3次元カメラの機能構成を示すブロック図である。

【図18】FIFOメモリを使った重心演算回路の例を示す図である。

【図19】メモリの詳細な構成の例を示す図である。

【図20】メモリの動作を模式的に説明するための図である。

【図21】VRAMを使った重心演算回路を示す図である。

【図22】VRAMの各アドレスP<sub>y</sub>に格納されるデータのライン番号を示す図である。

【図23】メモリの詳細な構成の例を示す図である。

【図24】空間重心演算の方法による重心演算回路の例を示す図である。

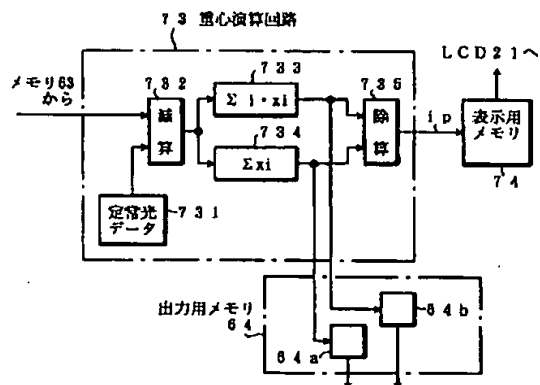
【図25】スリット光投影法の概要を示す図である。

【図26】スリット光投影法による計測の原理を説明するための図である。

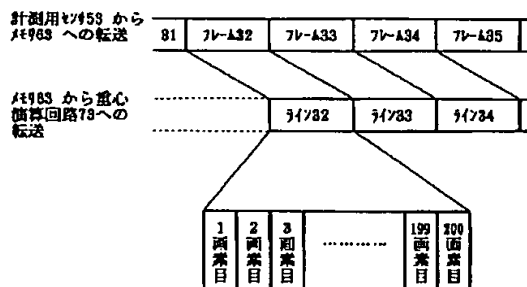
【符号の説明】

- 1 計測システム(3次元計測システム)
- 3 ホスト(第1演算手段、第2演算手段、第3演算手段、第4演算手段)
- 40 光学系(投光手段)
- 43 ガルバノミラー(走査手段)
- 53 センサ(撮像手段)
- 61 システムコントローラ(撮像制御手段)
- 73 重心演算回路(第1演算手段)
- 733 第1加算部
- 734 第2加算部
- 735 除算部
- 73B, 73B1, 73B2 重心演算回路(第1演算手段)
- 73B, 73B1, 73B3 重心演算回路(第3演算手段)
- 631 VRAM(第1加算部)
- 632 VRAM(第2加算部)
- 635, 636 レジスタ(第1加算部)
- 637, 638 レジスタ(第2加算部)
- 733B レジスタ(第1加算部)
- 734B レジスタ(第2加算部)
- 735B 除算器(除算部)
- 737 加算器(第1加算部)
- 738 加算器(第2加算部)
- g 画素(受光領域)
- Ae 有効受光領域(受光幅)
- no<sub>p</sub> 通過タイミング
- N<sub>peak</sub> 時間重心
- M<sub>peak</sub> 空間重心
- i<sub>p</sub> 重心(時間重心、空間重心)
- S2 撮像面
- U スリット光(検出光)
- Q 物体

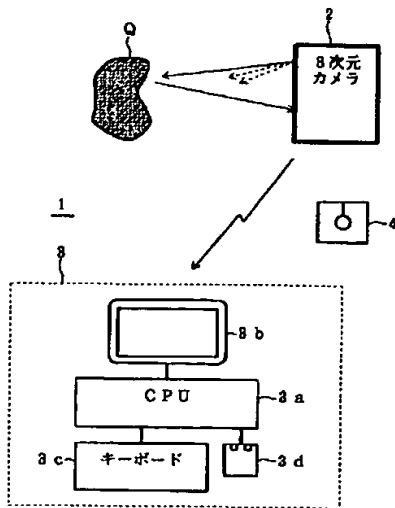
【図11】



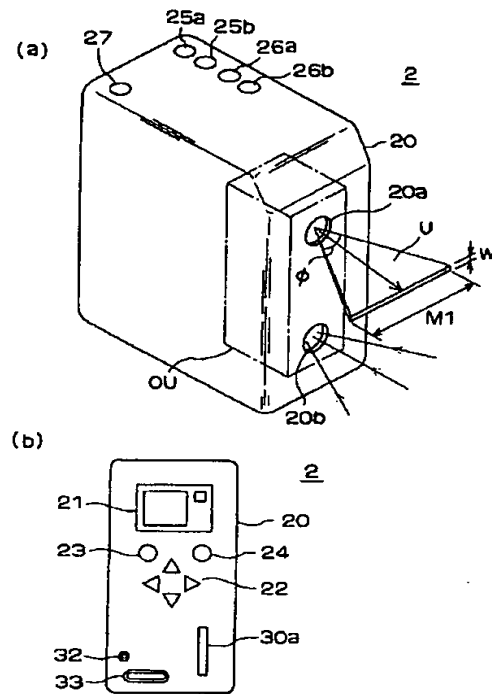
【図12】



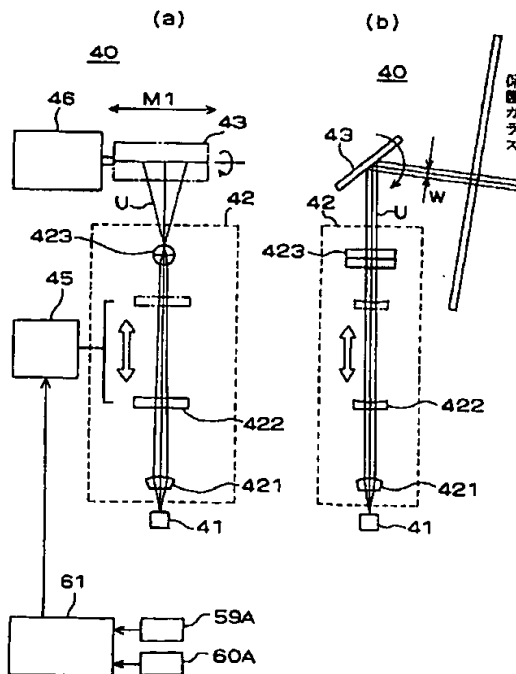
【図1】



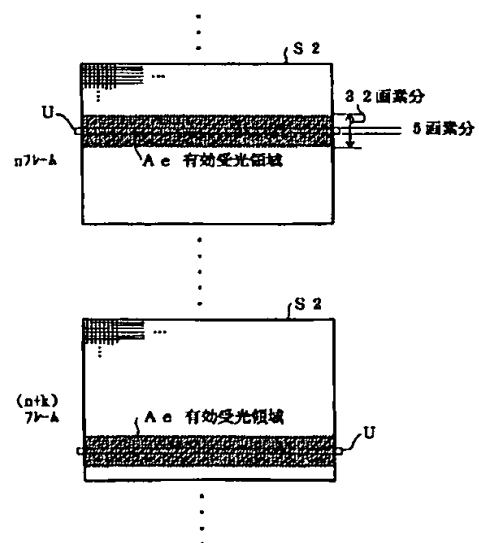
【図2】



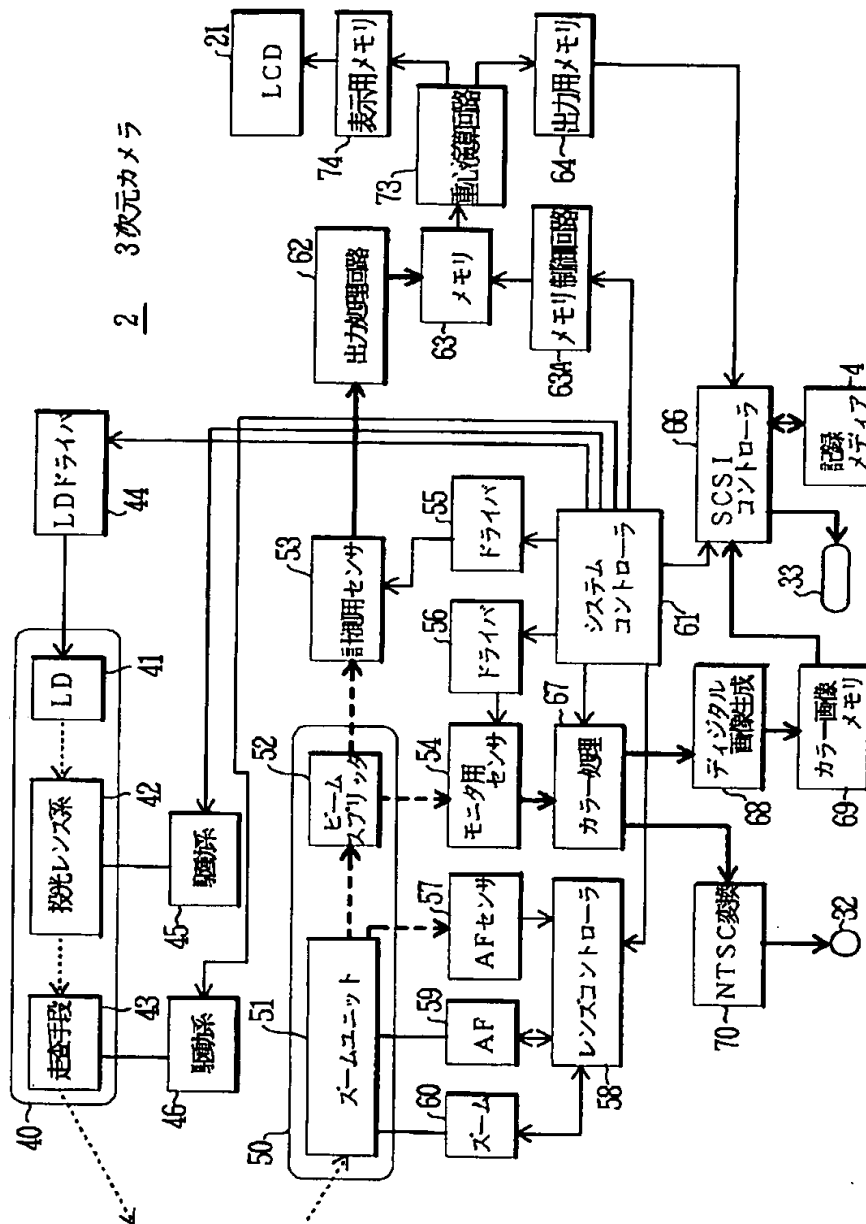
【図4】



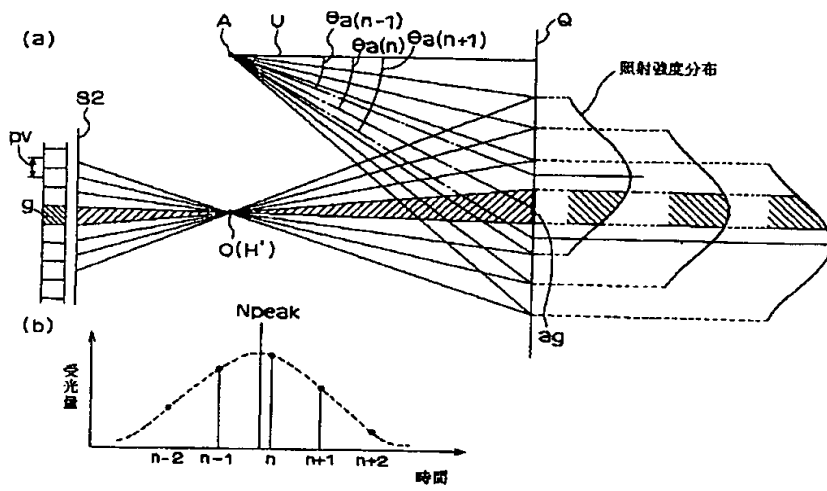
【図6】



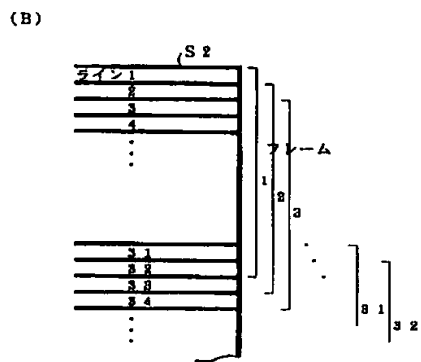
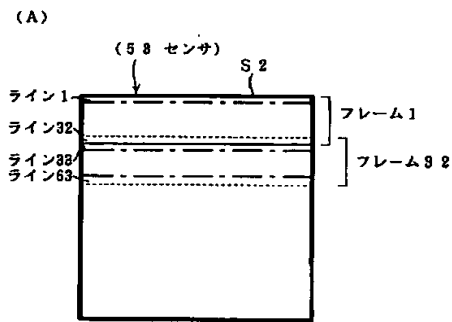
## 2 3次元カメラ



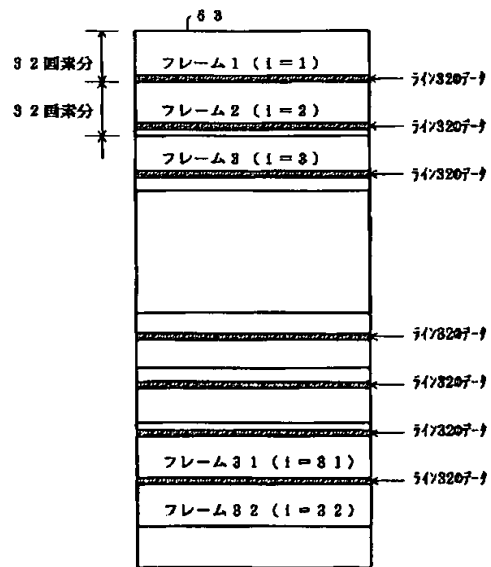
【図5】



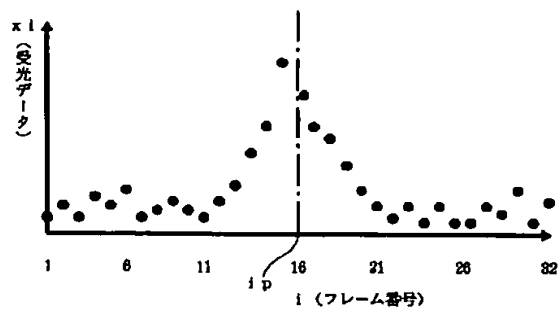
【図7】



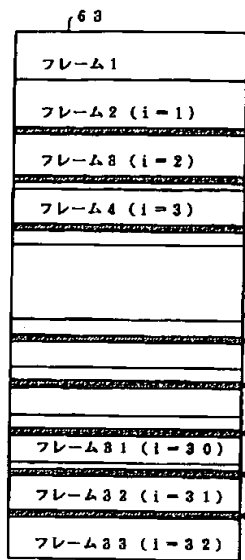
【図8】



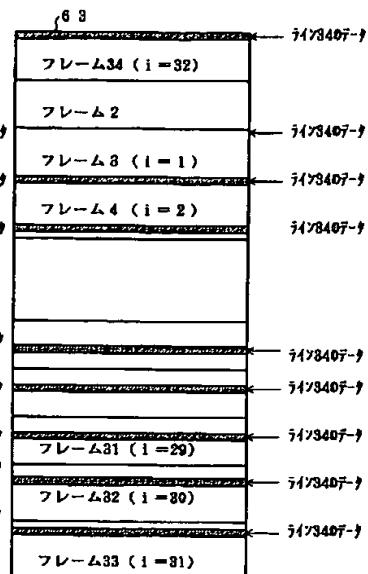
【図13】



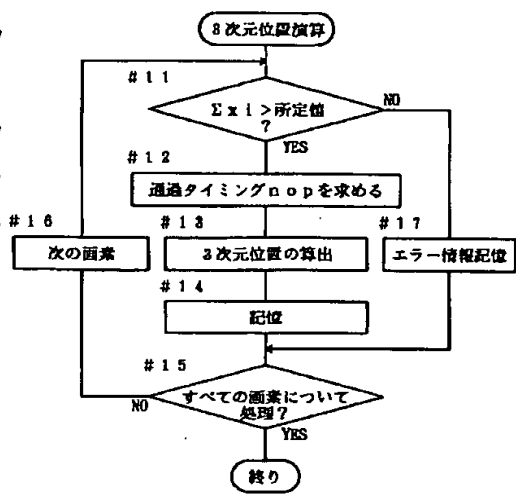
【图9】



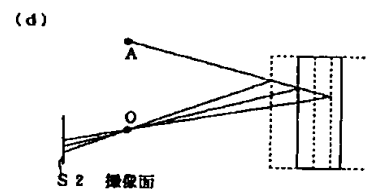
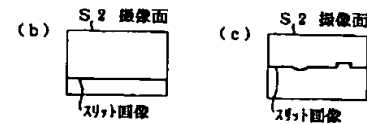
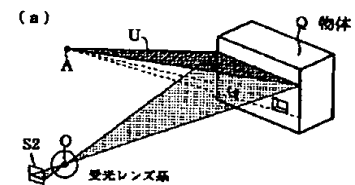
【図10】



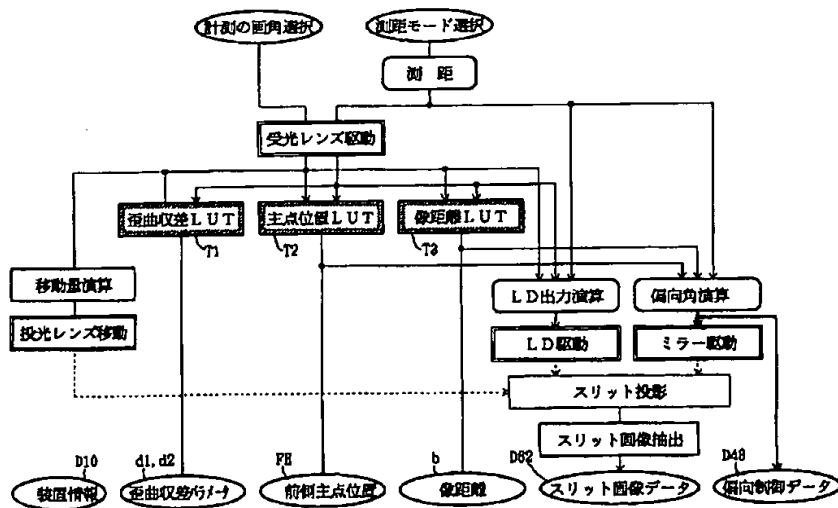
【図15】



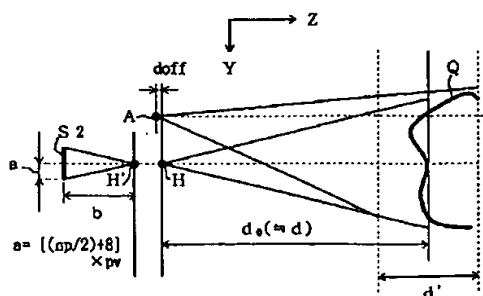
【图25】



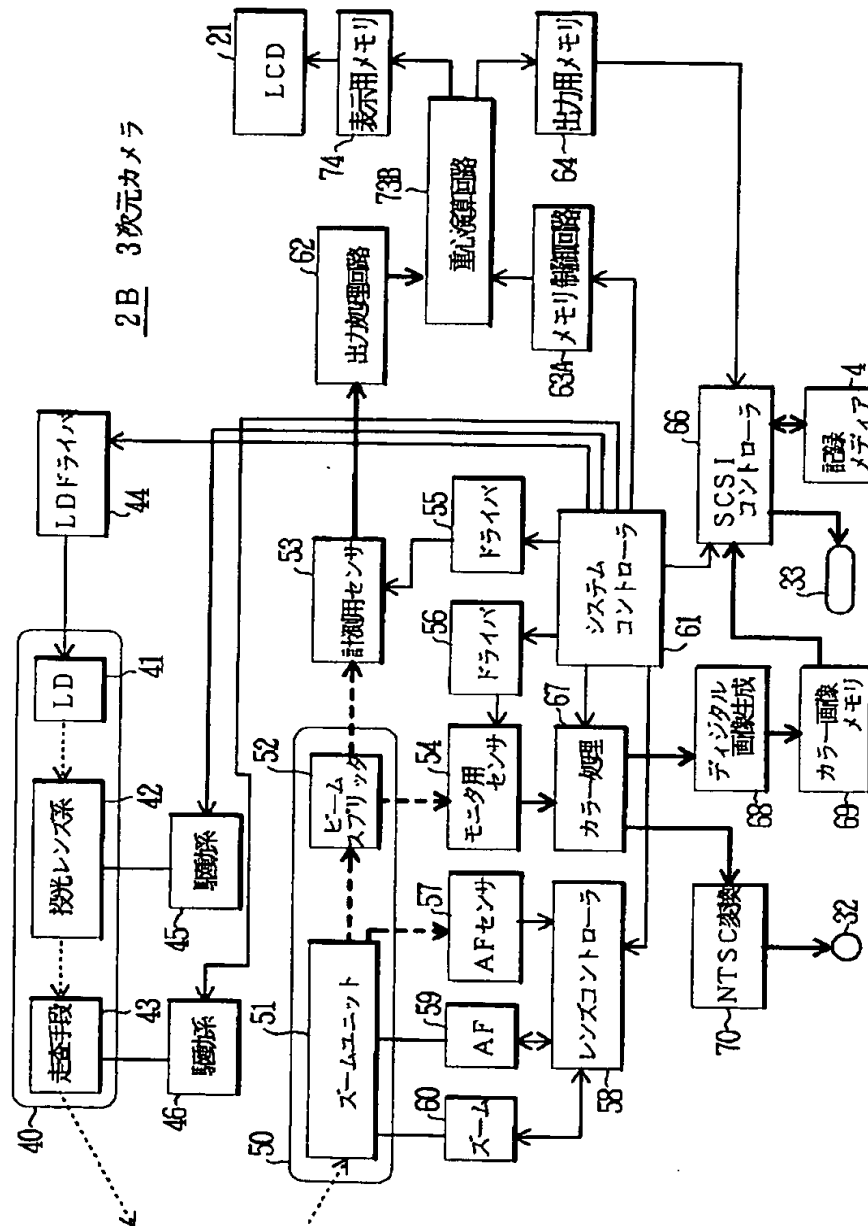
【図 14】



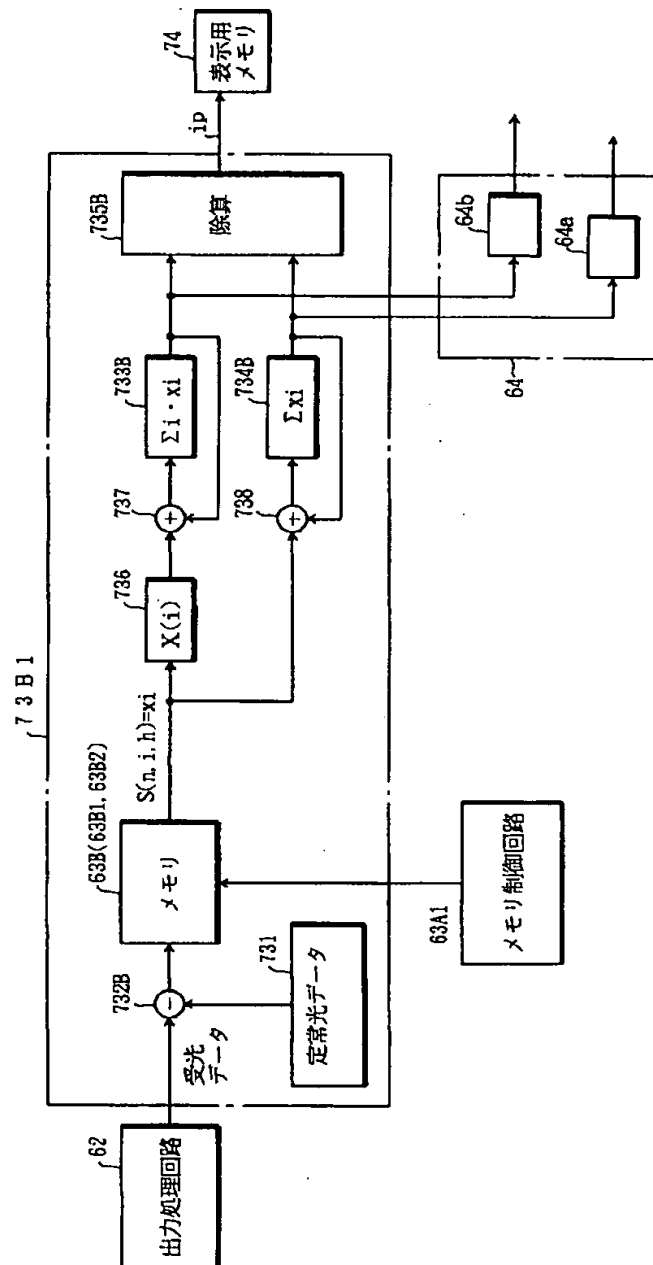
【図16】



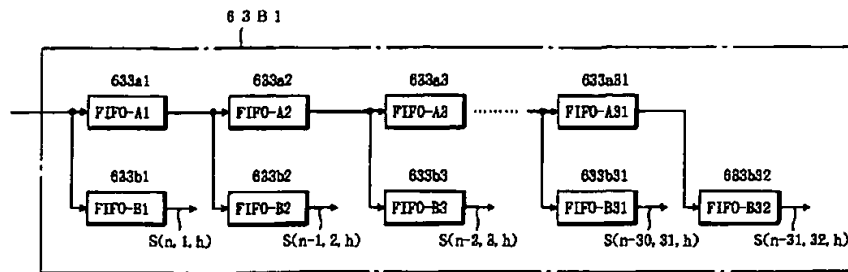
2B 3次元カメラ



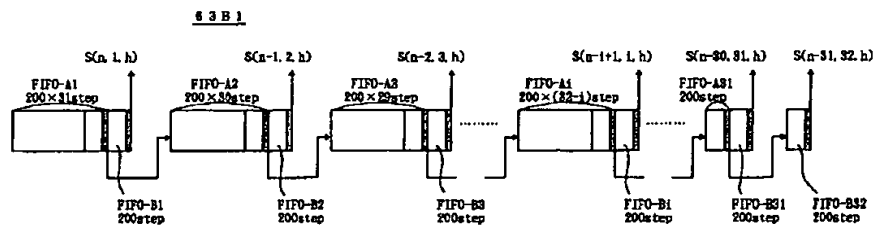
【図18】



【図19】



【図20】

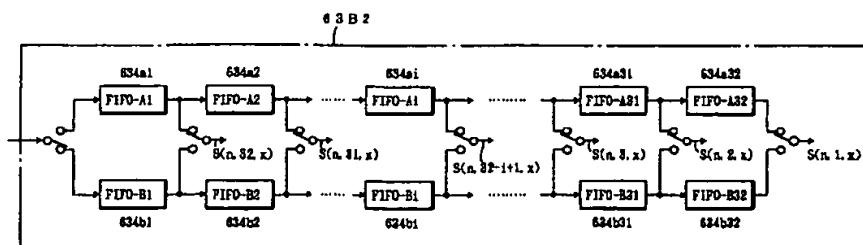


【図22】

ライン番号

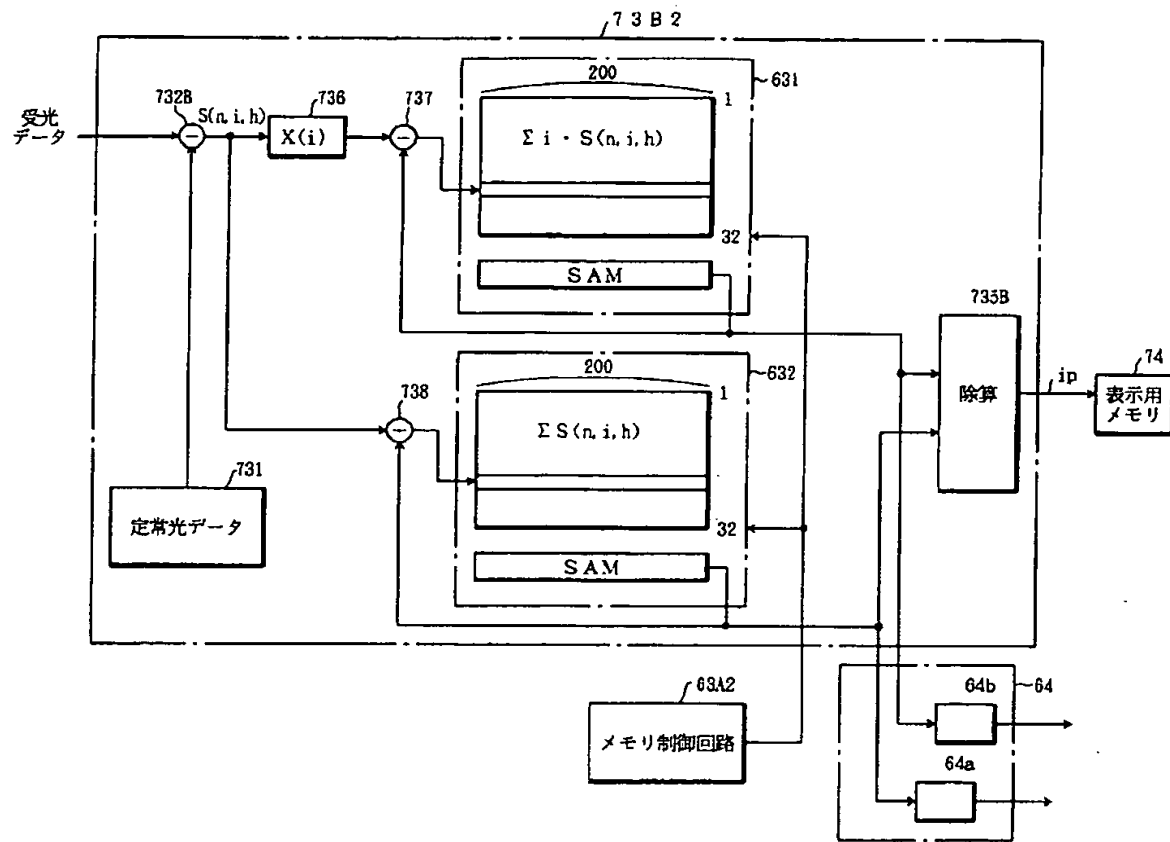
フレーム番号	センサ53の領域面	アドレスP										
		0	1	2	...	29	30	31				
1	1~32	32										
2	2~33	32	33									
3	3~34	32	33	34								
...	...	...	...	...								
31	31~62	32	33	34	...	61	62					
32	32~63	32	33	34	...	61	62	63				
33	33~64	64	33	34	...	61	62	63				
34	34~65	64	65	34	...	61	62	63				

【図23】





【図21】



【図24】

